

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：34519

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K09169

研究課題名(和文) 空気清浄機の使用による屋内環境の変化と呼吸器系に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Effects of the use of air purifier on indoor environment and respiratory system among healthy adults.

研究代表者

余田 佳子 (Yoda, Yoshiko)

兵庫医科大学・医学部・助教

研究者番号：80748434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：空気清浄機の使用による一般家屋内の大気汚染物質濃度の低減と、それによる呼吸器系への影響の改善効果の評価するために健康者32名を対象にクロスオーバー介入研究を行った。その結果家屋内の微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)濃度は、本物の空気清浄機使用では偽物に比べて約11%低減したがその差は有意ではなかった( $p=0.08$ )。同居のいない世帯で空気清浄機によりPM<sub>2.5</sub>の有意な低減効果が見られた。しかし、健康影響については明らかな効果はみられなかった。

一方、屋内粗大粒子(PM<sub>10-2.5</sub>)濃度の増加により1秒量の有意な低下が見られた。同様に屋内オゾン濃度の増加により最大呼気中間流量の有意な低下が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般家屋を対象として、空気清浄機の使用によりわずかに家屋内の環境が改善されたが、有意差はみられなかった。しかし、同居のいない世帯で空気清浄機によりPM<sub>2.5</sub>の有意な低減効果が見られ、家庭内の生活環境によって濃度に差があることがわかった。また、空気清浄機による健康影響の改善について、明らかな効果は見られなかったが、屋内のPM<sub>10-2.5</sub>濃度とO<sub>3</sub>濃度の増加が呼吸器系に影響を及ぼすことが明らかとなった。これらの知見は、今後、家屋内における環境の改善につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：A crossover intervention study was conducted with 32 healthy subjects to elucidate the association between an improved indoor environment achieved by air purification and its health effects.

Indoor fine particles (PM<sub>2.5</sub>) concentrations decreased by approximately 11% with true air purifiers, as compared to those with sham air purifiers. However, this decrease was not statistically significant ( $p = 0.08$ ). The air purification was found to significantly reduce PM<sub>2.5</sub> concentrations in single-person households. The air purification did not significantly improve the respiratory function of the study subjects.

In contrast, an increase in the indoor coarse particles (PM<sub>10-2.5</sub>) concentration led to a significant decrease in the forced expiratory volume in one second (FEV<sub>1.0</sub>)/forced vital capacity (FVC). Similarly, an increase in indoor ozone (O<sub>3</sub>) concentration resulted in a significant decrease in maximal mid-expiratory flow (MMEF).

研究分野：環境疫学

キーワード：空気清浄機 微小粒子状物質 粗大粒子 オゾン 肺機能 屋内環境 生活環境

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大気汚染物質が健康に及ぼす影響について国際的に懸念されている。大気汚染物質の中でも、微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) は、粒径 2.5 μm 以下と非常に小さい為、吸入すると肺の最深部まで到達し、肺機能の低下や気道の炎症を生じるなど、呼吸器系への影響が知られている。また、ガス状物質であるオゾン (O<sub>3</sub>) 濃度は年々増加傾向にあり、眼や呼吸器系への粘膜刺激作用を生じる。一方、室内空気中にはエンドトキシンが浮遊しており、アレルギーや呼吸器系への影響について議論されている。このように PM<sub>2.5</sub> や O<sub>3</sub> などに加えて、エンドトキシンへの曝露により呼吸器系への影響が生じることが指摘されているが、生活環境レベルでの曝露の実態やその影響については、不明の点が多い。屋内環境を改善するために、空気清浄機の使用が普及しつつある。空気清浄機の使用と長期的な健康影響との関連は、日本では知られておらず、空気清浄機の使用による予防効果は十分に解明されていない。そのため、一般家屋において空気清浄機の使用による屋内環境の変化と健康影響との関連を解明することが必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、一般家屋における空気清浄機の使用と家屋内の大気汚染物質やエンドトキシンなどの濃度との関係を明らかにする。さらに、空気清浄機の使用により、一般家屋内の大気汚染物質濃度の低減と、それによる呼吸器系に及ぼす影響への予防効果を評価するために介入研究を行う。

### 3. 研究の方法

一般家庭 32 世帯を対象に無作為クロスオーバー介入試験を行った。対象者は、同居者に喫煙者がおらず、現在空気清浄機を使用していない家庭に居住している人を募集した。非喫煙の健康成人 32 名 (30 ~ 60 歳) の同意を得た。

対象者を 2 群にわけ、1 群に本物の空気清浄機を、もう片方に偽の空気清浄機を家庭で連続使用し、通常の生活を 4 週間過ごしてもらった。その後 4 週間の washout 期間を設け、空気清浄機を入れ替えて 4 週間過ごしてもらった。

本研究は、兵庫医科大学倫理審査委員会の承認 (No. 2898) を得て行った。対象者全員に文書によるインフォームドコンセントを行って実施した。また、研究内容は大学病院医療情報ネットワーク (University Hospital Medical Information Network = UMIN) に登録した。

#### (1) 屋内濃度測定

PM<sub>2.5</sub>、粗大粒子状物質 (PM<sub>10-2.5</sub>)、O<sub>3</sub>、エンドトキシン濃度を 1 週間ごとに捕集し測定した。粒子状物質は、粒径 2.5 μm 以下の微小粒子 (PM<sub>2.5</sub>) と粒径 2.5 ~ 10 μm の粗大粒子 (PM<sub>10-2.5</sub>) に分級できるインパクタを接続し、小型ポンプを用いて 1.5 L/min で吸引した。ポンプは各家庭の屋内のリビングルームと屋外のベランダに設置した。5 分稼働、30 分停止させる断続運転で 1 週間ごとに捕集した。捕集フィルターは電子天秤で秤量を行った。エンドトキシンはリムルス法により測定した。O<sub>3</sub> は、パッシブサンプラーを用いて捕集した。サンプラーは PM 捕集用ポンプと同じ場所に設置して 1 週間ごとに交換し、得られた試料はイオンクロマトグラフィーを用いて分析した。

#### (2) 呼吸機能検査

肺機能検査と呼気一酸化窒素 (FeNO) 濃度測定を研究開始前と研究期間中は 1 週間毎の合計 9 回測定した。

#### (3) 生活環境調査

生活習慣や生活環境は、質問票を用いて評価した。調査開始時に、同居人数やペットの有無、居住環境と、喘息の既往歴や鼻炎の有無など質問票を用いて評価した。また、調査期間中の家屋の換気状況、日常的な生活行動や呼吸器の症状などは質問票を用いて毎週調査した。

#### (4) 解析方法

得られた結果を用いて、本物の空気清浄機および偽物の空気清浄機を使用した場合による屋内環境の違いを示した。また、屋外環境との関連を表すため、屋内外の濃度比 (屋内 ÷ 屋外) を用いた。さらに、空気清浄効果と呼吸機能検査の結果を混合モデルを用いて評価した。解析は SPSS 22 (IBM Co., Armonk, NY, USA) を用いた。統計学的有意水準は p 値 < 0.05 とした。

## 4. 研究成果

### (1) 対象者の詳細

対象者の詳細と調査開始時点に行った肺機能検査および FeNO 測定結果を表 1 に示す。対象者は、男性 10 名 (平均年齢 41.8 ± 8.9 歳)、女性 22 名 (平均年齢 40.9 ± 6.9 歳) であった。すべての対象者は、研究の最初から最後まで参加し、脱落者はいなかった。FeNO は、男性 23.9 ± 2.1 ppb、女性 10.8 ± 1.9 ppb であり、男性のほうが高い値であった。

表 1 対象者の詳細

	Male (n = 10)	Female (n = 22)	Total (n=32)
Age (years)	41.8±8.9	40.9±6.9	41.2±7.5
Height (cm)	169.0±6.0	158.8±4.3	162.0±6.8
Weight (kg)	66.5±13.3	53.3±6.1	57.4±10.7
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.2±3.9	21.2±2.7	21.8±3.2
FVC (L)	3.87±0.44	2.94±0.32	3.23±0.56
FEV <sub>1.0</sub> (L)	3.16±0.35	2.43±0.26	2.66±0.45
FEV <sub>1.0</sub> /FVC (%)	82.1±7.04	82.8±6.23	82.6±6.39
MMEF (L/s)	3.31±1.00	2.83±0.83	2.98±0.90
PEF (L/s)	8.19±1.83	5.29±0.99	6.20±1.87
$\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25}$	2.97±0.87	3.59±1.24	3.40±1.16
FeNO (ppb)	23.9±2.1	10.8±1.9	13.9±2.2

(2) 研究期間中の各物質の濃度

研究期間中のPM2.5、PM10-2.5、O<sub>3</sub>、エンドトキシンの濃度を表2に示した。本物の空気清浄機および偽物の空気清浄機を使用した場合の家庭の屋内PM2.5濃度の平均は、それぞれ8.6±5.0 μg/m<sup>3</sup>、9.7±4.3 μg/m<sup>3</sup>で、本物の空気清浄機の使用により約11%の濃度の低減が見られたが、その差は有意ではなかった(p=0.08)。PM10-2.5およびO<sub>3</sub>濃度についても同様に、本物の空気清浄機の使用によりわずかに濃度が減少したが、有意差はなかった。屋内PM2.5中エンドトキシン濃度の平均は、本物の空気清浄機を使用した場合、0.21±0.31 EU/m<sup>3</sup>、偽物では0.20±0.12 EU/m<sup>3</sup>であり、屋内PM10-2.5中エンドトキシン濃度の平均は、それぞれ0.15±0.19 EU/m<sup>3</sup>、0.15±0.21 EU/m<sup>3</sup>となり、本物と偽物の空気清浄機を使用した場合では、ほとんど濃度に差が見られなかった。

屋内外の濃度比(屋内÷屋外)を計算し、本物の空気清浄機を使用した場合と偽物の空気清浄機を比較した結果、PM2.5の屋内外の濃度比は、本物の空気清浄機を使用した家庭(0.72±0.38)では、偽物の空気清浄機(0.81±0.53)よりも低かったが、その差は有意ではなかった(p=0.11)。PM10-2.5およびO<sub>3</sub>濃度についても同様に有意な差はみられなかった。

表 2 研究期間中の各物質の濃度 (平均±標準偏差)

	1期			2期			全期		
	本物	偽物	p Values	本物	偽物	p Values	本物	偽物	p Values
<b>屋内</b>									
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	8.6 ± 3.8	9.7 ± 4.4	0.17	8.6 ± 5.9	9.7 ± 4.3	0.27	8.6 ± 5.0	9.7 ± 4.3	0.08
PM <sub>10-2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	3.1 ± 2.1	3.4 ± 2.4	0.50	2.1 ± 1.3	2.3 ± 1.9	0.53	2.6 ± 1.8	2.8 ± 2.2	0.36
O <sub>3</sub> (ppb)	1.6 ± 1.5	2.5 ± 2.0	0.00	2.8 ± 2.3	2.2 ± 1.4	0.07	2.2 ± 2.0	2.4 ± 1.7	0.45
PM <sub>2.5</sub> endotoxin (EU/m <sup>3</sup> )	0.14 ± 0.06	0.22 ± 0.14	0.00	0.28 ± 0.41	0.18 ± 0.08	0.05	0.21 ± 0.31	0.20 ± 0.12	0.97
PM <sub>10-2.5</sub> endotoxin (EU/m <sup>3</sup> )	0.19 ± 0.25	0.11 ± 0.07	0.02	0.12 ± 0.11	0.20 ± 0.28	0.04	0.15 ± 0.19	0.15 ± 0.21	0.59
Temperature( )	18.7 ± 1.7	18.7 ± 2.4	0.98	16.6 ± 2.4	17.7 ± 2.3	0.02	17.7 ± 2.3	18.2 ± 2.4	0.09
Relative humidity(%)	53.1 ± 7.6	50.2 ± 8.4	0.05	47.0 ± 10.8	46.0 ± 9.0	0.55	50.1 ± 9.7	48.2 ± 8.9	0.11
<b>屋外</b>									
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	12.8 ± 5.0	12.9 ± 5.1	0.97	12.2 ± 1.8	12.1 ± 1.5	0.79	12.5 ± 3.8	12.5 ± 3.8	0.97
PM <sub>10-2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	8.9 ± 7.6	9.1 ± 7.8	0.91	6.2 ± 1.8	6.1 ± 1.4	0.67	7.6 ± 5.6	7.6 ± 5.9	0.94
O <sub>3</sub> (ppb)	20.9 ± 5.6	23.1 ± 6.5	0.04	29.3 ± 5.4	27.0 ± 5.7	0.03	25.1 ± 6.9	25.0 ± 6.4	0.89
<b>屋内/屋外</b>									
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	0.73 ± 0.28	0.84 ± 0.69	0.12	0.71 ± 0.47	0.78 ± 0.29	0.26	0.72 ± 0.38	0.81 ± 0.53	0.11
PM <sub>10-2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	0.51 ± 0.43	0.59 ± 1.00	0.27	0.36 ± 0.27	0.38 ± 0.34	0.07	0.43 ± 0.36	0.49 ± 0.76	0.18
O <sub>3</sub> (ppb)	0.08 ± 0.08	0.12 ± 0.11	0.47	0.11 ± 0.10	0.08 ± 0.06	0.07	0.09 ± 0.09	0.11 ± 0.09	0.06

(3) 生活環境因子と空気清浄機の関係

生活環境因子と本物の空気清浄機および偽物の空気清浄機を使用した場合の関係については、同居者がいない世帯で、空気清浄の効果が発現に現れた。本物の空気清浄機を使用した場合の屋内外のPM2.5濃度比は、同居者がいない世帯(10世帯)では0.56±0.28で、偽物の空気清浄機では0.76±0.35となり、空気清浄機の使用による低減効果がみられた(p=0.001、図1)。空気清浄機の使用によるPM2.5濃度比の低減は同居者のいる世帯(22世帯)でもわずかに見られたが、有意ではなかった。

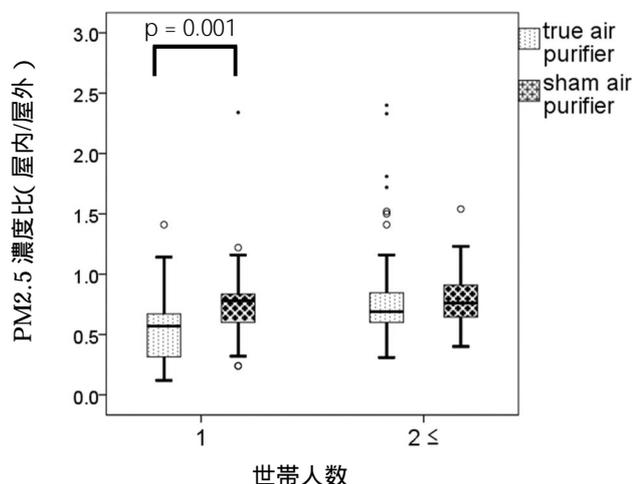


図1 本物および偽物の空気清浄機の使用によるPM2.5濃度比と世帯人数との関係

(4) 空気清浄機と呼吸機能検査結果の関係

本物および偽物の空気清浄機の使用と対象者の呼吸機能検査の結果を表3に示した。本物の空気清浄機を使用した場合は、偽物の空気清浄機を使用した場合に比べて、FEV<sub>1</sub>、FEV<sub>1.0</sub>/FVC、MMEF、PEF、FeNOで、わずかに低下する傾向がみられたが、いずれも統計学的に有意ではなかった。

表3 本物と偽物の空気清浄機を比較した呼吸機能検査結果の変化量

	Percent changes (95% CI)	p value
FVC (L)	0.001 (-0.062, 0.065)	0.966
FEV <sub>1</sub> (L)	-0.008 (-0.065, 0.050)	0.797
FEV <sub>1.0</sub> /FVC (%)	-0.322 (-1.662, 1.018)	0.637
MMEF (L/s)	-0.071 (-0.219, 0.078)	0.352
PEF (L/s)	-0.135 (-0.490, 0.220)	0.455
$\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25}$	0.239 (-0.278, 0.756)	0.362
Log_FeNO	-0.001 (-0.097, 0.095)	0.978

CI, confidence interval.

(5) 大気汚染物質濃度と呼吸機能検査の関係

屋内PM2.5、PM10-2.5およびO<sub>3</sub>濃度の四分位範囲増加あたりの呼吸機能検査結果の変化量を表4に示した。屋内PM10-2.5は濃度の増加により、FEV<sub>1.0</sub>/FVCの有意な低下がみられた(IQR 1.86 μg/m<sup>3</sup>増加あたり-0.52% [95% confidence interval (CI): -1.00, -0.05])。同様に屋内O<sub>3</sub>濃度の増加により、MMEFの有意な低下が見られた(IQR 2.81 ppb増加あたり-0.23 L/s [95% CI: -0.40, -0.07])。一方、屋内PM2.5およびPM10-2.5は濃度が増加すると、有意にFVCが増加する傾向が見られたが、変化量はそれほど大きくなかった。

表4 屋内の各汚染物質の四分位範囲増加あたりの呼吸機能検査結果の変化量

	Indoor PM <sub>2.5</sub>		Indoor PM <sub>10-2.5</sub>		Indoor O <sub>3</sub>	
	Percent changes (95% CI)	p value	Percent changes (95% CI)	p value	Percent changes (95% CI)	p value
FVC (L)	0.02 (0.00, 0.04)	0.020	0.02 (0.00, 0.05)	0.035	-0.02 (-0.09, 0.05)	0.660
FEV <sub>1</sub> (L)	0.01 (-0.01, 0.03)	0.315	0.01 (-0.01, 0.03)	0.554	-0.06 (-0.12, 0.00)	0.058
FEV <sub>1.0</sub> /FVC (%)	-0.35 (-0.77, 0.08)	0.108	-0.52 (-1.00, -0.05)	0.030	-1.41 (-2.88, 0.06)	0.061
MMEF (L/s)	-0.01 (-0.06, 0.04)	0.723	-0.02 (-0.08, 0.03)	0.406	-0.23 (-0.40, -0.07)	0.005
PEF (L/s)	0.07 (-0.05, 0.19)	0.228	0.10 (-0.03, 0.23)	0.137	-0.31 (-0.69, 0.08)	0.117
$\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25}$	0.13 (-0.10, 0.37)	0.273	0.17 (-0.08, 0.42)	0.174	-0.31 (-0.80, 0.19)	0.225
Log_FeNO	0.03 (-0.01, 0.06)	0.123	-0.01 (-0.04, 0.03)	0.708	-0.09 (-0.19, 0.01)	0.083

四分位範囲PM2.5 4.09 μg/m<sup>3</sup>、PM10-2.5 1.86 μg/m<sup>3</sup>、O<sub>3</sub> 2.81 ppb増加あたりの変化量

以上のとおり本研究において、一般家屋において日常生活における空気清浄機の使用による屋内大気汚染物質の軽減と、それによる健康影響との関連を解明するために、クロスオーバー介入研究を行った。その結果、屋内のPM2.5濃度は、本物の空気清浄機を使用すると、偽物の空気清浄機を使用した時より濃度の減少が観察されたが、有意差はみられなかった。生活環境因子では、同居者がいない世帯で、空気清浄による有意な低減がみられた。さらに、空気清浄機の使用と居住者の呼吸機能との間に有意な関係はみられなかった。

今後は、より多くの人を対象として、日常生活における長期的な空気清浄効果が、健康影響の改善に与える効果について、さらに評価する必要があると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yoda Y, Tamura K, Shima M.	4. 巻 27 (5)
2. 論文標題 Airborne endotoxin concentrations in indoor and outdoor particulate matter and their predictors in an urban city.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Indoor Air.	6. 最初と最後の頁 955-964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ina.12370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoda Yoshiko, Tamura Kenji, Adachi Sho, Otani Naruhito, Nakayama Shoji F., Shima Masayuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of the Use of Air Purifier on Indoor Environment and Respiratory System among Healthy Adults	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17103687	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoda Y, Tamura K, Shima M.
2. 発表標題 Airborne endotoxin concentrations in indoor and outdoor particulate matter and their predictors in an urban city
3. 学会等名 The 29th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology 2017. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 余田佳子、大谷成人、島 正之
2. 発表標題 子どものいる家屋の内外的における浮遊粒子中エンドトキシン濃度：エコチル調査兵庫ユニットセンターにおける追加調査
3. 学会等名 第76回日本公衆衛生学会総会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 余田佳子、島 正之
2. 発表標題 呼気一酸化窒素濃度 (FeNO) と生活環境との関連
3. 学会等名 第28回日本健康医学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shima M, Yoda Y.
2. 発表標題 Endotoxin Concentrations in Airborne Particulate Matter and House Dust in Homes of Japanese Children
3. 学会等名 The 30th Annual Scientific Conference of the International Society of Environmental Epidemiology 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 余田佳子、田村憲治、足立祥、大谷成人、島 正之
2. 発表標題 空気清浄機の使用が家屋内の粒子状物質濃度に与える影響
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 余田佳子、田村憲治、大谷成人、島 正之
2. 発表標題 一般家屋における空气中エンドトキシン濃度
3. 学会等名 第78回日本公衆衛生学会総会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	島 正之  (Shima Masayuki)  (40226197)	兵庫医科大学・医学部・教授   (34519)	
研究 分担者	大谷 成人  (Otani Naruhito)  (10561772)	兵庫医科大学・医学部・講師   (34519)	
研究 協力者	田村 憲治  (Tamura Kenji)	国立環境研究所	